



Offenlegungsschrift
DE 102 19 012 A 1

⑤ Int. Cl.⁷:
B 23 C 3/18
B 23 C 3/16



DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT

(21) Aktenzeichen: 102 19 012.7
(22) Anmeldetag: 27. 4. 2002
(43) Offenlegungstag: 13. 11. 2003

71 Anmelder:
MTU Aero Engines GmbH, 80995 München, DE

72 Erfinder:
Lebküchner, Götz, 82110 Germering, DE

Ⓢ Entgegenhaltungen:

DE	24 22 948 A1
US	60 77 002 A

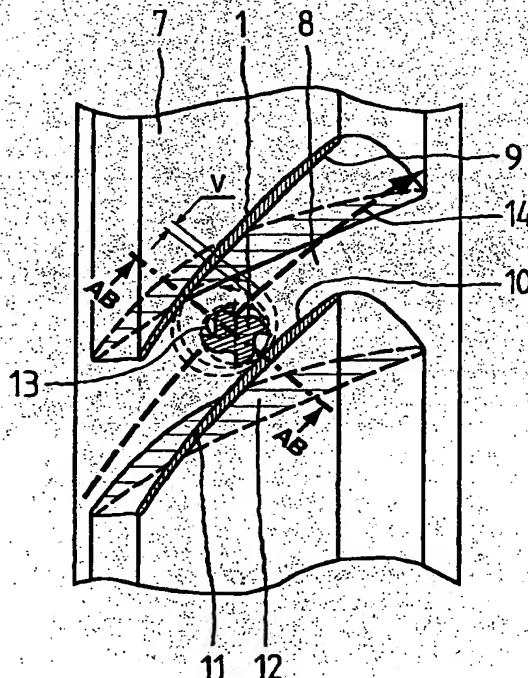
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Fräsverfahren

57 Fräsvverfahren zur Fertigung von Bauteilen aus schwer zerspanbaren Werkstoffen für Turbomaschinen, Luft- und Raumfahrzeuge unter Erzeugung von Vertiefungen mit einer oder mehreren Seitenwänden.

Als rotierendes Fräswerkzeug wird ein am Umfang und an der Spitze schneidender Schafffräser mit zum Umfang hin gerundeter Spitzenkontur verwendet, zusätzlich zur Rotation um seine Achse führt das Fräswerkzeug eine exzentrische Kreisbewegung um eine von seiner Achse beabstandete Kreisbahnnachse aus, wobei die entgegengesetzten Drehsinne zu einem Gleichlaufräsen führen, die Kreisbahnnachse führt quer zu ihrer Längsrichtung eine translatorische Vorschubbewegung auf einer geraden und/oder gekrümmten Bahn mit oder ohne Schwenkbewegung aus.



DE 102 19 012 A1

USPS EXPRESS MAIL
EV 636 851 788 US
DEC 12 2005

BUNDESDRUCKEREI 09.03 103 460/468/1

2

DE 102 19 012 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Fräsverfahren zur Fertigung von Bauteilen aus schwer zerspanbaren Werkstoffen für Turbomaschinen, Luft- und Raumfahrzeuge, gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

[0002] Ein solches Fräsverfahren ist aus der US-Patentschrift 6,077,002 bekannt. Dieses Patent sieht de facto eine Schruppbearbeitung durch sogenanntes Zeilen im Vollschnitt vor. Dabei werden in der Regel mehrere, seitlich versetzte Nuten (Zeilen) gefräst, wobei die Bearbeitung der jeweils äußersten Nuten die Erzeugung der Seitenwandkonturen mit beinhaltet. Hierfür wird mindestens ein an der Spitze und am Umfang schneidendes Fräswerkzeug verwendet, d. h. ein entsprechender Schaftfräser. Tiefere Kanäle werden in mehreren Zustellschritten in Fräserlängsrichtung bearbeitet, einschließlich des mehrfachen seitlichen Nutenversatzes. Das wichtigste Anwendungsgebiet für dieses Verfahren sind integral beschauelte Rotorscheiben, sogenannte Blisks (Blades Disks), für Gasturbinen. Bei den im Gasturbinenbau für Rotoren üblichen, hochfesten und schwer zerspanbaren Werkstoffen hat besagtes Verfahren gravierende Nachteile, wie ein geringes Zerspanvolumen je Zeiteinheit, einen hohen Werkzeugverschleiß, hohe Kosten und somit letztlich eine geringe Wirtschaftlichkeit.

[0003] Demgegenüber besteht die Aufgabe der Erfindung darin, ein Fräsverfahren für schwer zerspanbare Werkstoffe vorzuschlagen, welches dem vorstehend genannten Verfahren in allen wichtigen Kriterien deutlich überlegen ist.

[0004] Diese Aufgabe wird durch die in Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmale gelöst, in Verbindung mit den gattungsbildenden Merkmalen in dessen Oberbegriff. Der entscheidende Unterschied ist darin zu sehen, dass das Werkzeug zusätzlich zur zentrischen Rotation um seine Längsmittelachse eine exzentrische Kreisbewegung um eine definierte Kreisbahnachse ausführt. Durch entgegengesetzten Drehsinn von Rotation und Kreisbewegung ergibt sich ein werkzeug- und werkstückschonendes Gleichlaufräsen. Durch Überlagerung der exzentrischen Kreisbewegung mit einer translatorischen Vorschubbewegung entspricht die Bahnkurve der Fräterspitzenmitte einer Zykloide, d. h. der Kurve eines fest mit einem auf ebener bzw. gekrümmter Bahn rollenden Körper verbundenen Punktes, wobei der Radius des Punktes vom Rollradius verschieden sein kann. Zur optimalen Anschmiegung des Fräswerkzeuges an nicht vertikale Seitenwände, d. h. zur Kreisbahnachse nicht parallele Seitenwände, kann die Achse des Fräswerkzeuges bei jedem Kreisbahnlauf periodisch im Sinne einer Taumelbewegung um einen definierten Achspunkt im Bereich der Fräterspitze geschwenkt werden, wobei die Achse zeitweilig parallel zu den Seitenwandtangentialen steht. Bei zur Kreisbahnachse parallelen Seitenwänden ist dieses Taumeln nicht erforderlich. Mit der erfindungsgemäßen Frässtrategie ist eine Bearbeitung aus dem Vollen mit Schlichtparametern realisierbar, d. h. mit hoher Schnittgeschwindigkeit, mäßiger Werkzeugbelastung, reduziertem Verschleiß und der Möglichkeit großer Tiefenzustellung. Das Zerspanvolumen pro Zeiteinheit übertrifft die bekannten Schruppverfahren um ein Vielfaches, was die Wirtschaftlichkeit entsprechend erhöht.

[0005] In den Unteransprüchen sind bevorzugte Ausgestaltungen des Fräsverfahrens nach dem Hauptanspruch gekennzeichnet.

[0006] Die Erfindung wird anschließend anhand der Zeichnung noch näher erläutert. Dabei zeigen in vereinfachter, nicht maßstäblicher Darstellung:

[0007] Fig. 1 eine radiale Ansicht eines örtlich bearbeiteten Bauteils in Gestalt eines integral zu beschauelnden Ga-

sturbinenrotors.

[0008] Fig. 2 einen Teilschnitt gemäß dem Verlauf AB-AB in Fig. 1, und

[0009] Fig. 3 ein Fräswerkzeug mit alternativer Spitzenkontur.

[0010] Das Bauteil 7, hier beispielhaft in Gestalt eines integral zu beschauelnden Gasturbinenrotors in Axialbauweise, wird gemäß Fig. 1 etwa in Längsrichtung des Fräswerkzeuges 1 betrachtet. Im dargestellten Bearbeitungszustand ist erst eine Vertiefung 8 zwischen zwei sich gegenüberstehenden Seitenwänden 9, 10 gefertigt. Im Endzustand wird eine Vielzahl von Vertiefungen 8 gleichmäßig über den Bauteilumfang verteilt sein, jeweils getrennt von einer identischen Anzahl von Schaufeln. Die Vertiefungen 8 bilden dann die Strömungskanäle, die Seitenwände 9, 10 jeweils die Druck- und Saugseiten der Schaufeln. Zum besseren Verständnis sind in Fig. 1 Schaufelprofile 11, 12 eingezeichnet, wobei 11 das Profil an der Schaufelspitze, 12 das Profil an der Schaufelwurzel sein soll. Hier wird deutlich, dass die Seitenflächen 9, 10 räumliche Flächen mit variierenden Krümmungsradien sind. Dies soll zeigen, dass mit dem erfindungsgemäßen Fräsverfahren auch sehr anspruchsvolle Konturen gefertigt werden können. Dies wird durch die spezielle Kinematik, d. h. die Bewegungsformen des Fräswerkzeuges 1 relativ zum Bauteil 7 möglich, wobei auch das Bauteil bewegt werden kann. Das Fräswerkzeug 1 in Gestalt eines Schaftfräasers mit zylindrischer Außenkontur rotiert zentrisch um seine eigene Achse, wie in Fig. 1 mittels Pfeil angedeutet, im Uhrzeigersinn. Zusätzlich führt das Fräswerkzeug 1 eine exzentrische Kreisbewegung 13 aus, welche als durchgezogener Kreis gezeichnet ist. Der Drehsinn dieser Kreisbewegung 13 verläuft gegen den Uhrzeigersinn, so dass sich für das Fräswerkzeug 1 ein sogenanntes Gleichlaufräsen ergibt. Der Durchmesser der Kreisbewegung 13 wird so variiert, dass die gesamte Breite der Vertiefung erfasst wird, ggf. abzüglich eines beidseitigen Wandaufmaßes für eine sich später anschließende Endbearbeitung. Eine weitere Bewegungsform ist eine translatorische Vorschubbewegung 14 auf gerader und/oder gekrümmter Bahn. Der Vorschub v je Kreisbewegung 13 ist anhand zweier in Richtung 14 versetzter, gestrichelter Kreise dargestellt. Während der Vorschubbewegung 14 kann die Kreisbahnachse des Fräswerkzeuges 1 bedarfsweise auch räumlich geschwenkt werden. Dies ist z. B. bei der Fertigung von Radialverdichtern und -turbinen erforderlich.

[0011] Aus Fig. 2 sind weitere Details erkennbar. Das Fräswerkzeug 1 gemäß Darstellung ist ein sogenannter Kugelfräser mit einer halbkugelförmigen Spitzenkontur 5, deren Mittelpunkt mit M bezeichnet ist. Die Tiefenzustellung t für einen ersten Bearbeitungsvorgang ist wiedergegeben, ebenso sind zwei weitere Zustellungspositionen angedeutet. Das maximal mögliche Verhältnis der Tiefenzustellung zum Fräswerkzeugdurchmesser D dürfte etwa bei einem Wert "2" liegen. Man erkennt in Fig. 2 weiterhin die Achse R des Fräswerkzeuges 1, die Kreisbahnachse K der exzentrischen Werkzeugbewegung und den Durchmesser d_k der Kreisbewegung, der hier, genau genommen, nur für die Fräterspitze 3 gilt. Da die Seitenwände 9, 10 der Vertiefung 8 beide nicht parallel zur Drehachse K stehen, d. h. nicht senkrecht auf dem Grund der Vertiefung 8, wird dem Fräswerkzeug 1 eine zusätzliche Taumelbewegung auferlegt. Diese erfolgt periodisch bei jeder Kreisbewegung um die Kreisbahnachse K. Bei Annäherung des Fräswerkzeuges 1 an die Seitenwand 9 wird dessen Achse R um einen Winkel α bezüglich des Mittelpunktes M geschwenkt, bei Annäherung an die Seitenwand 10 um einen Winkel β . Die Winkel werden so gewählt, dass der Fräswerkzeugumfang die jeweilige Seitenwand möglichst konturnah bearbeitet. Die Winkel α und β können

ortsabhängig sein, d. h. mit dem Vorschub variieren, sie können auch tiefenabhängig sein, d. h. mit der Tiefenzustellung variieren. Bei einfachen Vertiefungen mit senkrechten Seitenwänden ist die genannte Taumelbewegung nicht erforderlich. Die Taumelbewegung führt mit zunehmendem Abstand von der Fräterspitze in Richtung Schaft zu einer Verzerrung der Kreisbewegung um die Achse K in Richtung Ellipse oder einer ähnlichen, geschlossenen Kurve. Falls die zu bearbeitenden Seitenwände überall eine konstante Neigung zur Vertikalen aufweisen, wäre es auch denkbar, die Achse R des Fräswerkzeuges 1 auf einer gedachten Kegel-
fläche mit der Kreisbahnachse K als Kegelachse unter konstantem Winkel "taumeln" zu lassen.

[0012] Fig. 3 zeigt stark vereinfacht ein Fräswerkzeug 2 mit einer alternativen Spitzenkontur. Anstelle einer Halbkugel - wie in Fig. 2 - weist die Fräterspitze 4 um die Achse herum einen zunächst ebenen Bereich auf, der unter einem Übergangsradius r_s zum Fräserumfang hin verläuft. Wichtig ist im Grunde nur, dass keine kerbenerzeugenden Ecken im Bereich der Fräterspitze vorhanden sind. Die genaue Spitzenkontur ist im Einzelfall zu optimieren.

Patentansprüche

1. Fräsverfahren zur Fertigung von Bauteilen aus schwer zerspanbaren Werkstoffen für Turbomaschinen, Luft- und Raumfahrzeuge unter Erzeugung von Vertiefungen mit einer oder mehreren Seitenwänden, insbesondere zur Fertigung von integral beschauelten Rotoren in Axial- und/oder Radialbauart, wobei die Vertiefungen die Strömungskanäle, die Seitenwände die Schaufeloberflächen bilden, **dadurch gekennzeichnet**, dass als rotierendes Fräswerkzeug (1, 2) ein an seinem Umfang und an seiner Spitze schneidender Schaftfräser mit einer zumindest zum Umfang hin gerundeten Spitzenkontur (5, 6) verwendet wird, dass das Fräswerkzeug (1, 2) zusätzlich zur zentrischen Rotation um seine Achse (R) eine exzentrische Kreisbewegung (13) um eine von seiner Achse (R) beabstandete Kreisbahnachse (K) ausführt, wobei der Drehsinn der Rotation dem Drehsinn der Kreisbewegung (13) entgegengesetzt ist, und die Drehzahl der Rotation erheblich höher als die Drehzahl der Kreisbewegung (13) ist, dass die Kreisbahnachse (K) einschließlich des sich exzentrisch um sie herum bewegenden Fräswerkzeuges (1, 2) quer zu ihrer Längsrichtung eine translatorische Vorschubbewegung (14) auf einer geraden und/oder gekrümmten Bahn mit oder ohne Schwenkbewegung ausführt, und dass die Achse (R) des Fräswerkzeuges (1, 2) zur Anpassung an nicht vertikale Seitenwände (9, 10) bedarfsweise während der Kreisbewegung (13) um die Kreisbahnachse (K) periodisch um einen Punkt (M) im Bereich der Fräterspitze (3) zur Erzeugung einer Taumelbewegung mit variierender Neigung (α , β) der Achse (R) geschwenkt wird.
2. Fräsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Fräswerkzeug (1, 2) ein Kugelfräser in Form eines Schaftfräasers mit einer halbkugelförmigen Spitzenkontur (5), oder ein Schaftfräser mit einer im mittleren Bereich ebenen, randseitig mit einem Übergangsradius (r_s) zum Umfang hin verlaufenden Spitzenkontur (6) verwendet wird.
3. Fräsverfahren nach Anspruch 1 oder 2 zur Erzeugung von nutartigen Kanälen mit zwei sich gegenüberliegenden Seitenwänden im konstantem oder variablem Abstand, dadurch gekennzeichnet, dass der kon-

stante oder variable Durchmesser (dk) der Kreisbewegung um die Kreisbahnachse (K), ohne Berücksichtigung einer überlagerten Taumelbewegung des Fräswerkzeuges (1, 2), der örtlichen Nenn-Kanalbreite abzüglich eines beidseitigen Endbearbeitungsaufmaßes sowie abzüglich des Fräswerkzeugdurchmessers (D) entspricht.

4. Fräsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitung hinsichtlich ihrer Kenngößen einer Schlichtbearbeitung entspricht, mit Merkmalen wie hoher Schnittgeschwindigkeit, niedriger Werkzeugbelastung und geringem Werkzeugverschleiß.

5. Fräsverfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der translatorische Vorschub (v) ca. 0,5 bis 1,0 mm je Kreisbewegung (13) um die Kreisbahnachse (K) beträgt.

6. Fräsverfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Tiefenzustellung (t) in Richtung der Kreisbahnachse (K) zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bearbeitungsschritten maximal etwa dem doppelten Fräswerkzeugdurchmesser (D) entspricht.

7. Fräsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch die Verwendung zum Fräsen von taschenartigen Vertiefungen bzw. von an Flanschflächen, Erhebungen (Bosses), Anschlussstutzen etc. angrenzenden Zwischenräumen an Gasturbinengehäusen bzw. an Strukturelementen von Luft- und Raumfahrzeugen, wie Rippen, Spanten, Holmen, Stringern, Beplankungen etc.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

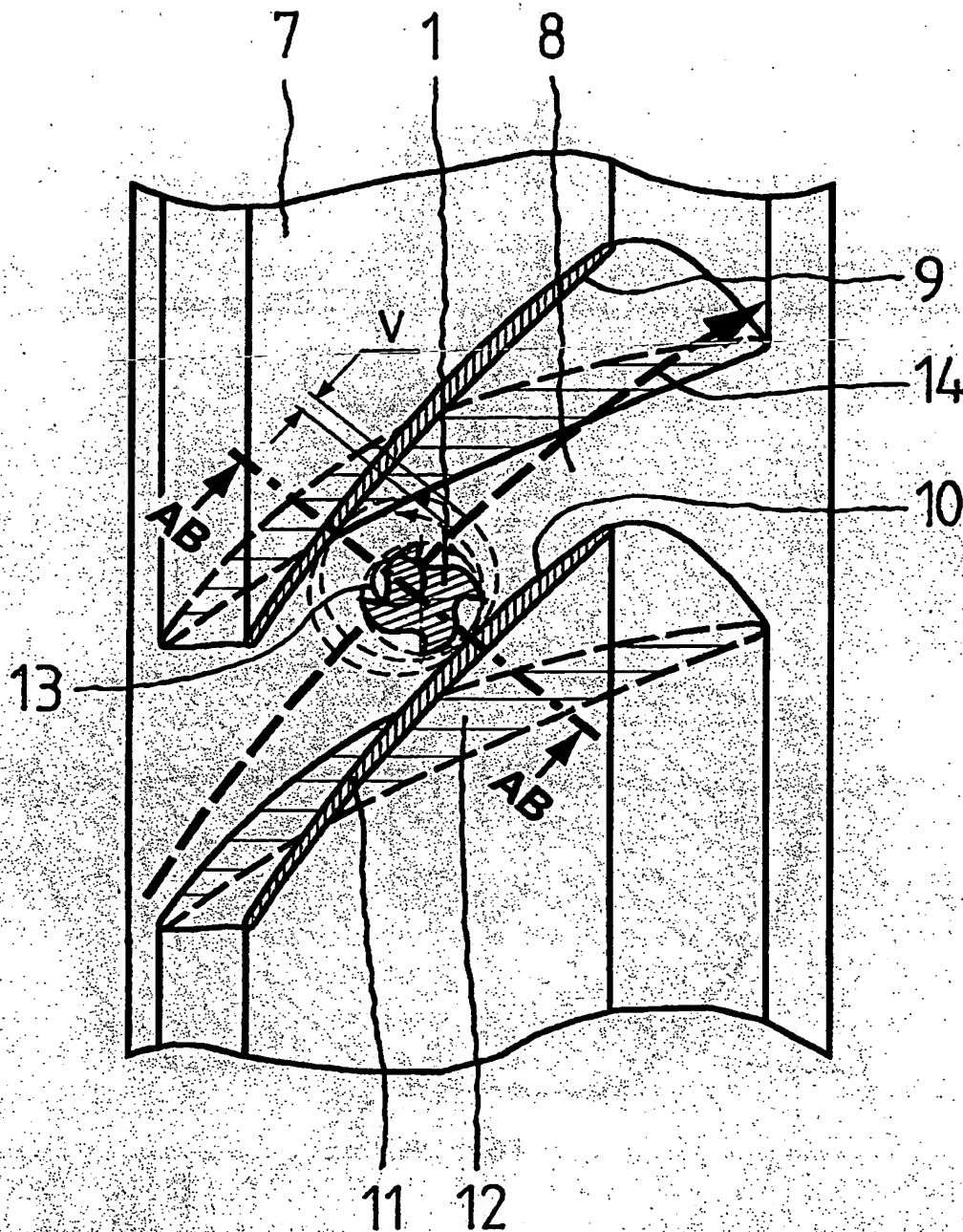


Fig. 1

